

⑫ 公開特許公報(A) 平2-261083

⑬ Int. Cl. 5
H 02 P 5/00識別記号 R 7315-5H
F 7315-5H

⑭ 公開 平成2年(1990)10月23日

審査請求 未請求 請求項の数 6 (全13頁)

⑮ 発明の名称 サーボ系の発振検出及び速度ループゲイン自動調整方式

⑯ 特願 平1-181655

⑰ 出願 平1(1989)7月15日

優先権主張 ⑯ 昭63(1988)12月23日 ⑯ 日本(JP) ⑯ 特願 昭63-323692

⑱ 発明者 岩下 平輔 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 フアナツク
株式会社商品開発研究所内

⑲ 出願人 フアナツク株式会社 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地

⑳ 代理人 弁理士 竹本 松司 外2名

明細書

1. 発明の名称

サーボ系の発振検出及び速度ループゲイン
自動調整方式

2. 特許請求の範囲

(1) 位置指令を零にし、位置偏差値に応じて所定オフセット値を有する速度指令を与えることによりサーボ系に振動を生じせしめ、このとき得られるサーボモータの実速度変化又は位置偏差量の変化を検出し、該実速度変化又は位置偏差量の変化の周波数分析を行って得られる最大振幅の周波数が突然、それまでの変動に対し非常に大きく変動するまで速度ループゲインを上昇させ突然、非常に大きくに上記周波数が上昇したことを検出することによってサーボ系の発振を検出するようにしたことを特徴とするサーボ系の発振検出方式。

(2) 位置指令を零にし、位置偏差値に応じて所定オフセット値を有する速度指令を与えることによりサーボ系に振動を生じせしめ、この

とき得られるサーボモータの実速度変化又は位置偏差量の変化を検出し、該実速度変化又は位置偏差量の変化を微分することによって微分値の変化を求め、該微分値の変化の周波数分析を行って得られる最大振幅の周波数が突然、それまでの変動に対し非常に大きく変動するまで、速度ループゲインを上昇させ突然、非常に大きく上記周波数が上昇したことを検出することによってサーボ系の発振を検出するようにしたことを特徴とするサーボ系の発振検出方式。

(3) 周波数分析を行って得られる最大振幅の周波数が低いときには上記オフセット値を大きくし、上記周波数が高くなるにつれて上記オフセット値を小さくする請求項1又は請求項2記載のサーボ系の発振検出方式。

(4) 位置指令を零にし、位置偏差値に応じて所定オフセット値を有する速度指令を与えることによりサーボ系に振動を生じせしめ、このとき得られるサーボモータの実速度変化又は

位置偏差量の変化を検出し、該実速度変化又は位置偏差量の変化の周波数分析を行い最大振幅の周波数を求め該周波数が設定された基準周波数に対し設定所定範囲内に達するよう順次速度ループゲインを自動調整し、設定所定範囲内に達した時点での速度ループゲインを当該速度ループのゲインとする servo 系の速度ループゲイン自動調整方式。

- (5) 位置指令を零にし、位置偏差値に応じて所定オフセット値を有する速度指令を与えることにより servo 系に振動を生じせしめ、このとき得られる servo モータの実速度変化又は位置偏差量の変化を検出し、該実速度変化又は位置偏差量の変化を微分することによって微分値の変化を求め、該微分値の変化の周波数分析を行い最大振幅の周波数を求め、該周波数が設定された基準周波数に対し設定所定範囲内に達するよう順次速度ループゲインを自動調整し、設定所定範囲内に達した時点での速度ループゲインを当該速度ループのゲインとする servo 系の速度ループゲイン自動調整方式。

- 3 -

「0」にしたときは積分比例 (IP) 制御が行われるもので、この PI 制御、 IP 制御を決めるパラメータである。 K_t はトルク定数、 J_m は系全体のイナーシャである。また、 V_c は速度指令信号であり、 V_t は速度信号を意味する。この第 11 図に示す速度ループのブロック線図は、一般的に知られているものであり、詳細な説明は省略する。

この速度制御ループは第 11 図のブロック線図からも明らかのように 2 次系である。そして、カットオフ周波数 f_n (Hz) とダンピング定数 ζ を決めると、積分ゲイン k_1 、比例ゲイン k_2 は次の第(1)式、第(2)式によって決まる。

$$k_1 = (J_m/K_t) \cdot (2\pi f_n)^2 \quad \dots (1)$$

$$k_2 = (J_m/K_t) \cdot 2F \cdot (2\pi f_n) \quad \dots (2)$$

この積分ゲイン k_1 、比例ゲイン k_2 によって決まる速度ループゲインが低いと、 servo モータを 1 パルス分送ろうとしても、ゲインが低いため servo モータは回転せず、移動指令が數パルス溜まった時点で始めて回転する等のため送り現象が

する servo 系の速度ループゲイン自動調整方式。

- (6) 周波数分析を行って得られる最大振幅の周波数が低いときには上記オフセット値を大きくし、上記周波数が高くなるにつれて上記オフセット値を小さくする請求項 4 又は請求項 5 記載の servo 系の速度ループゲイン自動調整方式。

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は、工作機械の送り軸や、ロボット等の servo モータで駆動される機械における servo 系の発振検出及び servo 系の速度ループゲインの調整方式に関する。

従来の技術

第 11 図は、 servo モータにおける速度ループのブロック線図であり、該ブロック線図において k_1 は積分ゲイン、 k_2 は比例ゲイン、 P はパラメータで、該パラメータ P を「1」としたときは比例積分 (PI) 制御が行われ、パラメータ P を

- 4 -

生じたり、また、外乱に対しても弱く、 servo モータの速度は低い周波数のうねりを生じる。逆に該速度ループゲインが高すぎると、通常の速度のとき、例えば工作機械であれば、切削送りや早送り時等に系の共振等により振動を起してしまう。

そこで、従来は、速度ループゲインの積分ゲイン k_1 、比例ゲイン k_2 を決定するために、カットオフ周波数 f_n とダンピング定数 ζ を試行錯誤的に決め、系の共振等による発振が生じない範囲でなるべく積分ゲイン k_1 、比例ゲイン k_2 が大きくなるように設定している。

発明が解決しようとする課題

上述したように、速度ループゲイン (k_1 、 k_2) の調整は系の共振等による発振が生じないよう試行錯誤的に機械毎に行わねばならず、速度ループゲインの決定に多くの手間と時間を要する。

そこで、本発明の第 1 の目的は系の発振を自動的に検出する検出方式を提供することにある。

本発明の第 2 の目的は、速度ループゲインの決定を自動的に行うことができる速度ループゲイン

- 5 -

-594-

- 6 -

自動調整方式を提供することにある。

課題を解決するための手段

位置指令を零にし、位置偏差値に応じて所定オフセット値を有する速度指令を与えることによりサーボ系に振動を生じせしめ、このとき得られるサーボモータの実速度変化又は位置偏差量の変化を検出し、該実速度変化又は位置偏差量の変化の周波数分析を行う。若しくは、上記実速度変化又は位置偏差量の変化をさらに微分し微分値の変化を求め、この微分値変化の周波数分析を行う。上記周波数分析で得られる各振幅の周波数内、最大振幅の周波数を求める。そして、速度ループゲインを上昇させて、順次上記周波数を求める。該周波数が突然、それまでの変動に対し非常に大きく上昇したときを検出し、そのときの状態がサーボ系の発振として検出する。さらに、速度ループの周波数帯域が低い（速度ループゲインが小さい）ときには、上記オフセット値を大きくし、周波数帯域が高くなるにつれてオフセット値を小さくしてサーボ系の発振を検出するようにする。

- 7 -

幅が最大となる周波数を検出する。そして、速度ループゲインを順次上げていくと、サーボモータで駆動される機械を含めたサーボ系の共振等によって上記最大振幅の周波数はそれまでの周波数の上昇に較べ非常に大きく上昇する。この非常に大きく上昇する点を検出すれば、サーボ系の発振を検出することができる。

ただし、上記方式では、共振が弱い間は共振周波数は検出できず、系が本格的に共振を起こして共振周波数が支配的となって共振周波数の振幅が最大となつたときしか系の発振を検出できない。

一般にサーボ系の制御系自体が作り出している振動周波数に対し機械系の共振周波数は數倍高い。仮に制御系の基本の周波数を f_0 、機械の共振周波数をその m 倍の $m f_0$ としたときサーボモータの実速度変化（実速度波形）は次の第(3)式で表わされる。

$$v(t) = A_1 \sin(2\pi f_0 t) + A_2 \sin(2\pi m f_0 t + \rho) \quad \dots \dots (3)$$

なお、 ρ は位相遅れである。

- 9 -

又、速度ループゲインを調整するときには、上述した方法により上記最大振幅の周波数が予め設定されている基準周波数に対し、所定範囲に達するまで、順次速度ループゲインを自動的に調整し、設定所定範囲内に達した時点での速度ループゲインを当該速度ループのゲインとして決定し、最適速度ループゲインを自動的に決定できるようする。

作用

位置指令を零にし、位置偏差値に応じて所定オフセット値を有する速度指令を与えると、わずかな位置偏差量によって速度ループにはオフセット値を有する速度指令が入力され、サーボモータは摩擦に打勝って移動する。すなわち、ステップスティックスティップする。その結果、位置偏差量は逆方向に増加し、そのため逆方向の速度指令が出力され、今度はサーボモータは逆方向に回転する。これが繰り返され、サーボモータは振動を起すこととなる。このときのサーボモータの実速度変化又は位置偏差値の変化を検出し、周波数分析を行って振

- 8 -

一方上記第(3)式を微分し微分信号 $\omega(t)$ を求めると次の第(4)式のようになる。

$$\begin{aligned} \omega(t) &= d v(t) / dt \\ &= 2\pi f_0 A_1 \cos(2\pi f_0 t) \\ &\quad + 2\pi m f_0 t A_2 \cos(2\pi m f_0 t + \rho) \\ &\dots \dots (4) \end{aligned}$$

したがって、上記第(3)式で求められる実速度変化における基本の周波数 f_0 の振幅 A_1 と機械の共振周波数 $m f_0$ の振幅 A_2 の比は A_2 / A_1 であることに対し、第(2)式で示される微分信号 $\omega(t)$ の振幅比は $m A_2 / A_1$ となり、 m 倍となる。よって実速度変化（位置偏差変化）を周波数分析するよりも、この実速度変化（位置偏差変化）を微分した値、即ち加速度変化を周波数分析して最大振幅の周波数を求めた方が、速度ループゲインの過上昇による系の発振を、その発振の影響が弱い早い段階で検出することができる。

さらに、上記オフセット値が小さいと、速度ループの周波数帯域が低いとき（速度ループゲインが小さいとき）には、機械系のパックラッシュ内

-595-

- 10 -

でサーボモータが振動したり、機械系の摩擦トルクの方が大きくて振動が生じない場合があり、逆にオフセット値が大きいと速度ループの周波数帯域が高くなったり、トルクリミットにより、トルク指令値が飽和したり、モータの発熱、或いは機械系に大きな機械的振動を与えるので、速度ループの周波数帯域が高くなるに比例して上記オフセット値を小さくすることにより上記不具合を解消する。

また、速度ループのゲインを調整する場合には、サーボ系の速度ループ、ポジションループ等の系によって経験的に求められている望ましい基準周波数を設定しておき、上記サーボ系の振幅を検出する方式と同様にステップスティックステップを行わせて、検出される振幅最大の周波数が、望ましい基準周波数と同一またはその近傍に達するように速度ループゲインを順次変更して自動調整し、同一または所定範囲内に入ると、そのときの速度ループゲインを当該速度制御ループの速度ループゲインとして自動的に確定する。

- 11 -

は速度ループに速度指令として入力されるが、本発明の速度ループゲイン調整時においては、関数発生器2に入力され、該関数発生器2で速度指令 $V_c(in)$ を後述するように変換して速度指令 $V_c(out)$ として出力し、速度ループに出力される。速度ループでは速度指令 $V_c(out)$ と速度信号(サーボモータの実速度) V_t の差、即ち、速度偏差量を積分項3で積分した値から、パラメータPが「1」の場合では速度信号 V_t から速度指令値 $V_c(out)$ を減じた値に比例ゲインを乗じた値を減じ、その値がサーボモータへトルク指令として出力され、また、パラメータPが「0」の場合には、積分項3から出力された積分値から速度信号 V_t に比例ゲインk2が乗じられた値を減じ、その値がトルク指令として出力され、サーボモータを駆動することとなる。

上記関数発生器2は、第2図に示すように、位置偏差量が零でオフセット値±Aを有し、入力速度指令 $V_c(in)$ がプラス方向又はマイナス方向に増加するにつれて比例定数Kで出力速度指令

実施例

以下、本発明の一実施例について説明する。

第1図は、本実施例における速度ループを含む位置ループのブロック線図であり、サーボモータにおける通常の位置ループのブロック線図と異なる点は関数発生器2が加わった点である。

第1図において、1は位置ループにおける比例項で、 K_p はポジショングイン、2は関数発生器、3は速度ループの積分項で、 k_1 は積分ゲイン、4は速度ループの比例項で、 k_2 は比例ゲイン、5はパラメータPの項で、P I制御のときは「1」、I P制御のときは「0」となるものである。また、6、7はサーボモータの伝達関数の項で、 K_t はトルク定数、 J_m は系全体のイナーシャである。また、8は速度 V_t を位置 P_r に変換する積分項である。

比例項1は、位置指令 P_c とサーボモータの実際の位置 P_r との差、即ち、位置偏差量をゲイン K_p で増幅し速度指令 $V_c(in)$ として出力し、通常の位置ループであれば、この速度指令 $V_c(in)$

- 12 -

$V_c(out)$ が増加又は減少するよう設定された関数発生器で、第2図に示すように、該関数発生器2の入力 $V_c(in)$ が零近傍(位置偏差量が零近傍)においては、入力 $V_c(in)$ のわずかな変化に対し出力 $V_c(out)$ は大きく変化し、他の部分は入力 $V_c(in)$ が変化しても出力 $V_c(out)$ の変化量は少ない。このような入出力関係になった関数発生器2を構成する。

すなわち、関数発生器の入出力関係は次の第(5)式、第(6)式となる。

$V_c(in) \geq 0$ のとき

$$V_c(out) = K \cdot V_c(in) + A \quad \dots \dots (5)$$

$V_c(in) < 0$ のとき

$$V_c(out) = K \cdot V_c(in) - A \quad \dots \dots (6)$$

そうすると、第1図に示すゲイン調整時の位置ループでは位置指令 P_c が零のときサーボモータは必ず振動を起こす。すなわち、位置指令 P_c が「0」でも位置偏差量にはわずかな変動がある。そのため、第2図に示すように、位置偏差量が

- 13 -

-596-

- 14 -

「0」からわずかでも変動すると、関数発生器2から速度制御ループに出力される速度指令 $V_c(\text{out})$ は大きく変動し、サーボモータは回転することとなる。サーボモータが回転すれば、位置偏差量は逆方向に増大し、関数発生器2からは逆方向の速度指令 $V_c(\text{out})$ が出力され、サーボモータは今度は逆方向に回転する。これが繰返され、サーボモータは振動を起こすことになる。

このサーボモータの振動の周波数は速度制御ループの帯域周波数（カットオフ周波数 f_n ）が高ければ速度制御ループの応答が速いので、この周波数も高くなる。

そこで、上記サーボモータの振動、即ち、速度信号 V_t の振動周波数を検出し、この周波数には、摩擦等により他の周波数部分も含んでいるから、フーリエ変換等の周波数分析で主振動成分、即ち、振幅が最大の周波数成分を抽出すれば、この主振動成分が速度指令 $V_c(\text{out})$ に応答したものと想定される。そして、機械系に共振が発生しなければこの振幅最大の周波数は速度ループゲイン K_1 、

- 15 -

CPUは第3図の処理を速度ループ処理周期毎実行する。

まず、フラグFが「1」か否か判断し（ステップ100）、「0」であると位置ループ1から出力される速度指令 $V_c(\text{in})$ を読む（ステップ101）。サーボ系発振検出モードでは位置指令 P_c は「0」であるから、速度指令 $V_c(\text{in})$ は「0」又は後述するように速度指令 $V_c(\text{out})$ がオフセット値Aを有することから、正又は負の値をとっている。そこで、読取った速度指令 $V_c(\text{in})$ が零以上か否か判断し（ステップ102）、零以上ならば速度ループへ出力する速度指令 $V_c(\text{out})$ を第(5)式の演算を行って出力し（ステップ103）、負ならば第(6)式の演算を行って出力する（ステップ104）。即ち、このステップ102～104の処理が第1図における関数発生器2の処理である。次に実速度 V_t を読み、指標iで示されるアドレスのメモリ M_i に該実速度 V_t を格納し、指標iを「1」インクリメントする（ステップ105～107）。そして、指標iの値が設定

K_2 を順次上昇させると連続的に増大する。しかし、機械系に共振が生じれば共振周波数の影響で上記振幅が大の周波数は突然、それまでの周波数の変動に較べ非常に大きく変動する。そのため、この周波数が大きく変動する時点を検出し、このときがサーボ系の発振として検出する。

第3図は、サーボ系の制御をソフトウェアで行うデジタルサーボ回路のプロセッサ（以下CPUという）が行うサーボ系発振検出モードにおける速度ループ処理周期毎の処理のフローチャートである。

まず、工作機械やロボット等を制御する数値制御装置に、初期のパラメータとしてカットオフ周波数 f_n を設定値 f_{n0} に、ダンピング定数 ζ を設定値 ζ_0 に設定し、パラメータPを「0」にセットすると、デジタルサーボ回路のCPUは上記第(1)式、第(2)式の演算を行って速度ループゲイン K_1 、 K_2 の初期設定を行い、後述するフラグF、指標iを「0」に初期設定する。そして、サーボ系発振検出モードにすると、サーボ回路の

- 16 -

された値Nより大きいか否か判断し（ステップ108）、大きくなればステップ103、104で求められた速度指令 $V_c(\text{out})$ に基いて通常の速度ループ処理を行い（ステップ110）、当該速度ループ処理周期の処理を終了する。速度ループ処理ではトルク指令値が算出され、次に、従来と同様に電流ループ処理等が行われ、サーボモータに駆動電流が流れ、サーボモータは駆動されることとなる。

なお、上記設定値Nは、後述する周波数分析のためのFFT処理に必要なデータ数を規定するものである。

上記処理をCPUは速度ループ処理周期毎繰り返すこととなるが、例えば、ステップ102で $V_c(\text{in}) = 0$ と判断され、速度指令として、 $V_c(\text{out}) = K \cdot V_c(\text{in}) + A$ が出力されると、オフセット値Aがあることによりサーボモータは正回転し、その結果、位置偏差は負となり、位置ループ1から出力される速度指令 $V_c(\text{in})$ は負となる。その結果、次の周期ではステップ104の

- 17 -

-597-

- 18 -

処理が行われ速度ループへの速度指令 $V_c(out)$ は $(K \cdot V_c(in) - A)$ となり、サーボモータを逆転させるように電流が流れることとなり、サーボモータ及び機械は振動することとなる。そしてメモリには各速度ループ周期毎に検出された実速度 V_t が記憶されることとなる（ステップ 105, 106）。そして、指標 i の値が設定値 N を超えると（ステップ 108）、CPU はフラグ F を「1」にセットする（ステップ 109）、その結果、以後の速度ループ処理周期ではステップ 100 からステップ 101 へ移行し、通常の速度ループ処理のみを行うこととなる。

一方、デジタルサーボ回路の CPU はサーボ制御のための位置ループ処理、速度ループ処理、電流ループ処理等の周期以外の残り時間において、第 4 回に示す発振検出処理を実行する。

まず、フラグ F が「1」にセットされているか否か判断し（ステップ 200）、セットされてなければ、何ら処理を行わない。一方、第 3 図に示す速度ループ処理のステップ 109 でフラグ F が

— 19 —

処理で求めた周波数 f_{max} をレジスタ $R(i)$ に格納して、現在設定されているカットオフ周波数 f_n に設定値 f_s を加算し新しいカットオフ周波数 f_n とする（ステップ 206）、そしてこの周波数 f_n に基いて第 (1), 第 (2) 式の演算を行って、新しい速度ループのゲイン K_1, K_2 を求め設定する（ステップ 207）、そして、指標 i 及びフラグ F を「0」にセットし今回の発振検出処理を終了する。

フラグ F が「0」にセットされたことにより、速度ループ処理周期では、再び第 3 図のステップ 100～110 の処理を開始し、新しい速度ループゲインによる実速度 V_t のデータをメモリ $M_0 \sim M_n$ に格納することとなる。

そして、指標 i が「 N 」となりメモリ $M_0 \sim M_n$ 内にデータが記憶され、フラグ F が「1」にセットされると、再び第 4 図のステップ 200～208 の処理を開始し、最大振幅の周波数 f_{max} を求め、今回はすでにレジスタ $R(i)$ に前回の周波数 f_{max} が記憶されているから、ステップ

「1」にセットされメモリ $M_0 \sim M_n$ に $(n+1)$ 個の実速度データが格納されているときには、この実速度データを読み出し、周波数分析を行う。本実施例ではすでに市販されているソフトの FFT (Fast Fourier Transform : 高速フーリエ変換) によって周波数分析を行い各周波数 f_{Hi} 成分の振幅 $c(i)$ を求める（ステップ 201）。なお、FFT は周波数分析するために所定数のデータを必要とし、そのデータの数は 2 のべき乗でなければならない。そのため、第 3 図の処理において設定された N の値はデータ数 $M_0 \sim M_n$ が周波数分析するに必要な数となり、その数が 2 のべき乗となるよう設定されている。

ステップ 201 で求められた振幅 $c(i)$ の内、最大振幅の周波数 f_{Hi} を f_{max} として求め（ステップ 202）、前回の処理によって求められた最大振幅の周波数 f_{max} を記憶レジスタ $R(i)$ が「0」か否か判断する（ステップ 203）。レジスタ $R(i)$ は初期設定で始めは「0」に設定されているから、ステップ 205 へ移行し、今回の

— 20 —

203 よりステップ 204 へ進み、今回求めた周波数 f_{max} が前回の周波数 f_{max} の m 倍 ($m = 2 \sim 3$) 以上か否か判断する（ステップ 204）。前述したように速度ループのゲイン K_1, K_2 が上がり機械系が共振すると、この共振の影響で、最大振幅の周波数 f_{max} は非常に大きく増大し、前周期の周波数 f_{max} より m 倍となるが、共振が生じてなければ、周波数 f_{max} は、飛躍的に増大しないから、 m 倍とはならず、ステップ 205 へ移行し、前述したように、速度ループゲインを上げ、指標 i 、フラグ F を「0」にセットし（ステップ 206～208）、再び第 3 回のステップ 100～110 の処理を開始する。

以下、上述した処理を繰り返し行い、ステップ 204 で前回の周波数 f_{max} より m 倍以上の周波数 f_{max} が検出されると、サーボ系の発振として数値制御装置の表示装置に、速度ループのゲイン K_1, K_2 、発振時のカットオフ周波数 f_n 、検出周波数 f_{max} を表示し、サーボ系発振モード処理を終了する。

— 21 —

—598—

— 22 —

上述したサーボ系の発振検出方法では、機械系が共振を起こしてもその共振が弱い間は共振の影響が少なく、最大振幅が共振周波数に対応して検出されない。そこで前述したように、実速度変化を微分して加速度の変化を求め、この加速度の変化（加速度波形）で周波数分析して、サーボ系の発振を検出するようにする。そうすれば第(4)式で説明したように、共振が弱い段階でも系の発振を検出することができる。

例えば、120 Hz (周期が約8 msec) の機械的共振を持つ機械系に対し、速度ループのゲインを調整して、25 Hz (周期が40 msec) で振動させるようにした場合、得られる実速度変化（実速度波形）は第8図のようになる。一方、速度を微分した微分値の変化（速度微分波形）は第9図に示したようになり、共振周波数120 Hz 微分波形では支配的となり、より検出し易くなることがある。

このときのデジタルサーボ回路のプロセッサの速度ループ処理周期毎の処理は第3図におけるス

テップ106の代りに第5図に示す処理が実行されることとなる。

すなわち、ステックスリップ処理を行い（ステップ103, 104）実速度Vtを読んだ（ステップ105）後、読出された実速度VtからレジスタR(i)に記憶する前周期で読出された実速度を減じて加速度信号a(i)を求める（ステップ300）。なお、レジスタR(i)は初期設定で「0」にセットされている。次に、読出した実速度VtをレジスタR(i)に格納し、ステップ300で算出した加速度信号a(i)をメモリMiに格納し（ステップ301, 302）、第3図のステップ107以下の処理を行う。こうして、メモリM0～Mnには加速度信号a(i)が格納されることとなる。

次に、発振検出処理では、第4図に示す処理と略同一の処理が行われる。相違する点は、ステップ208で指標i, フラグFを「0」にセットすると共にレジスタR(i)も「0」にセットされる点のみである。

- 23 -

こうして加速度変化（加速度波形）に対して周波数分析が行われ、サーボ系の発振が検出される又となり、速度変化（位置偏差変化）で発振を検出するよりも、より速く検出することができる。

さらに、上記オフセット値Aについてみると、該オフセット値Aが小さい場合には、機械系のバックラッシ中で振動が生じたり、機械系の摩擦トルクが大きくて、ステックスリップを起こすことができない場合がある。この現象は、速度ループのゲインが低いときトルクコマンドの立ち上がりが遅いため特に起こりやすくなる。又、オフセット値Aが大きいと、速度、位置の振幅が大きくなり、特に速度ループのゲインが高くなった状態では、トルクリミットによりトルクコマンドが飽和したり、モータの発熱または機械系に大きな機械的振動を与えることとなり好ましくない。

ステックスリップを実現するために必要なトルクの最大値についてみると、同一のオフセット値Aでステックスリップを起させ、そのとき必要な最大トルク値を実験的に求めると、第10図に示

すように速度ループの周波数帯域にほぼ比例して増大する。このことが、速度ループの周波数帯域を高くしたゲインの高い状態で、トルクコマンドが飽和したり、モータ発熱、大きな機械的振動を発生させる原因である。

そこで、上記不具合を解決するために、速度ループの周波数帯域が低いときにはオフセット値Aを大きくし、高くなったときにはオフセット値Aを小さくすればよい。具体的には、ある時点での速度ループの実際の周波数帯域は、第1図及び第3図で示す処理でステックスリップを起こさせたとき、モータの実速度に出て来る最大振幅の周波数fmaxに等しいので、その周波数fmaxをもって速度ループの帯域とみなし、本実施例ではA(fmax) = B / fmaxとして第10図に示すようにオフセット値Aを変えるようにする。なお、Bは固定値で、fmaxの初期値として推定値を設定する。

この場合、第3図、第4図に示す処理の内、第3図の処理を開始する前に初期設定として推定値

- 25 -

-599-

- 26 -

f_{max} が設定され、初期値のオフセット値 A が決められる点が前述したサーボ系発振検出処理と異なり、第 3 図の処理は全て同一となる。そして、第 4 図に示す発振検出処理において、ステップ 207 の後に第 6 図に示すステップ 400 の処理を追加し、最大振幅の周波数 f_{max} が求められる毎に上記オフセット値 A を B / f_{max} に変更し、ステップ 208 へ移行するようとする。その結果、速度ループのゲインが大きくなるにつれて、オフセット値 A は小さくなり、上述した不具合は解消されることとなる。なお、第 3 図のステップ 106 の代りに第 5 図のステップ 300～302 の処理を行って加速度変化（加速度波形）から最大振幅の周波数 f_{max} を求めるようにした場合においても、上記オフセット値 A の更新を行うようにしてもよいことはもちろんである。

次に、上述したサーボ系の発振検出方式を利用して、サーボ系の速度ループゲインを最適値に自動的に設定する方式について述べる。

数値制御装置をゲイン自動調整モードに切換える。

- 27 -

る実速度データを FFT 分析し、各周波数成分の振幅 $c(f)$ を求める（ステップ 201）。次に、検出された振幅のうち最大の振幅の周波数 f を f_{max} として求める（ステップ 502）。

そして、求められた周波数 f_{max} と設定されている基準周波数 f_a との差の絶対値が、ゲイン調整のために設定されている閾値 ε（約 1 Hz 程度）より小さいか否か判断し（ステップ 503）、小さくなければ現在セットされているカットオフ周波数 f_n に基準周波数 f_a から検出周波数 f_{max} を差し引いた値に設定パラメータ α（0.5～0.7 程度）を乗じた値を加算し、新しいカットオフ周波数とする（ステップ 504）。即ち、新しい $f_n = (\text{古い } f_n) + \alpha (f_a - f_{max})$ となる。

そして、新しいカットオフ周波数 f_n と設定されている制御系で決まる速度ループ帯域の上限値 f_{lim} を比較し（ステップ 505）、新しいカットオフ周波数 f_n が小さければ、この新しいカットオフ周波数 f_n で第 (1), 第 (2) 式の計算を

初期値として、カットオフ周波数 f_n を f_{n0} 、ダンピング定数 E を $E0$ 、パラメータ P を「0」セットすると共に速度ループ、ポジションループ等の系によって経験的に求められている望ましい基準周波数 f_a をセットする。デジタルサーボ回路の CPU は上記初期値より第 (1), 第 (2) 式の演算を行って速度ループゲイン K1, K2 を設定すると共に指標 I, フラグ F を「0」に初期設定する。そして、スタート指令が入力されると CPU は第 3 図の処理を開始し、サーボ系の発振検出方式と同様にメモリ内にモータの実速度 V_t を速度ループ処理周期毎に書き込み設定された数の実速度 V_t のデータがメモリ M0～Mn に格納され、フラグ F が「1」にセットされると（ステップ 109）、CPU は第 7 図に示すゲイン調整処理を開始する。

すなわち、フラグ F が「1」か否か判断し（ステップ 500）、「1」でなければゲイン調整処理を行わず、「1」であると前述したステップ 201 と同様に、メモリ M0～Mn に記憶されてい

- 28 -

行って新しい速度ループのゲイン K1, K2 を設定し（ステップ 508）、指標 I, フラグ F を「0」にセットする。フラグ F が「0」にセットされることにより、ゲイン調整処理は、ステップ 500 の処理とするのみとなる。

一方、速度ループ処理周期では第 3 図のステップ 100 でフラグ F が「0」と判断されるからステップ 101 以下の処理を再び開始し、新しい速度ループゲイン K1, K2 のもとに、ステップスリップが行われ実速度 V_t のデータが各速度ループ処理毎にメモリ M1 内に格納される。そして、設定数 (N+1) のデータがメモリ M0～Mn 内に格納され、フラグ F が「1」にセットされると（ステップ 109）、再び第 7 図に示すゲイン調整処理を開始する。

以下、上述した処理が繰り返され、速度ループゲイン K1, K2 は順次更新され大きくなっていく。そして、カットオフ周波数 f_n が速度ループ帯域の上限値 f_{lim} 以上になると（ステップ 505）、パラメータ P が「0」か否か判断し（ス

- 29 -

-600-

- 30 -

ステップ 506)、「0」であればパラメータ P の値を「1」にし、速度制御ループを P I 制御にセットし、また、カットオフ周波数 f_n を初期値 f_{n0} にセットし(ステップ 507)、再び前述同様の処理を繰り返す。

上記処理を繰り返し行っている中にステップ 503 で検出周波数 f_{max} と基準周波数 f_a の差の絶対値が閾値 ϵ より小さいと判断されると、ゲイン調整終了として現在記憶中の積分ゲイン k_1 、比例ゲイン k_2 及びパラメータ P の値をこの値に決定し、速度ループゲインの調整を終了する。なおこのとき、フローチャートでは示していないが、決定されたゲイン K_1 、 K_2 、パラメータ P 及び現在のカットオフ周波数 f_n を表示装置に表示して、ゲイン調整の終了を知らせるようにしてもよい。

また、上記処理を繰り返し中、検出周波数 f_{max} と基準周波数 f_a の差の絶対値が閾値 ϵ より小さくならず、ステップ 506 でパラメータ P が「1」と判断されると、カットオフ周波数 f_n を速

度ループ帯域の上限値 f_{elli_m} にセットし(ステップ 510)、このカットオフ周波数によってゲイン k_1 、 k_2 を決定し(ステップ 511)、速度ループゲインの調整を終了する。

こうして、積分ゲイン k_1 、比例ゲイン k_2 及びパラメータ P は決定され、決定された値によって速度制御が行われると、振動が生じなく、かつ、ゲインの大きい望ましい速度制御が行われることとなる。

なお、このゲイン調整処理において基準周波数 f_a の設定が悪いと、速度ループのゲイン k_1 、 k_2 が大きくなるに従って、最大振幅の周波数 f_{max} と基準周波数 f_a との差の絶対値が閾値 ϵ より小さくなる前に、機械系が発振する場合を考えられる。そこで、ステップ 502 とステップ 503 の間に、発振検出方式と同様に、第 4 図ステップ 203、204、209 の処理を挿入して、機械系の発振を検出し、基準周波数 f_a の設定値が悪いことを知らせるようにしてもよい。

また、この速度ループのゲイン調整方式において

- 31 -

ても、サーボ系の発振検出方式と同様に、ステップ 106 の代りに第 5 図に示す処理を行い、加速度変化によって最大振幅の周波数 f_{max} を求めてもよく、さらに、第 6 図に示すオフセット値の変更処理(ステップ 400)をステップ 508 とステップ 509 間に挿入するようにしてもよい。

また、上記各実施例では、モータの実速度を検出するようにしたが、位置指令が零であることから、位置偏差量を検出するようにしてもよい。

なお、サーボ系発振検出モード、ゲイン自動調整モード以外の通常のサーボモータの位置及び速度制御の場合には、第 1 図における関数発生器 2 の処理は行われないことはもちろんである。

発明の効果

本発明においては、サーボ系の発振を自動的に検出できると共に、さらに速度ループゲインを自動的に決定するため、従来のように試行錯誤で決定する場合と比べ、時間と手間を必要とせず、また、常に等価ゲイン(基準周波数 f_a によって決まる)を持つように設定することができる、また、

- 32 -

機械系の経年変化やイナーシャ等が変化しても最適の速度ループゲインを容易に得ることができる。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明の一実施例におけるサーボ系発振検出時及び速度ループゲイン自動調整時の位置ループのブロック線図。

第 2 図は、関数発生器の入出力関係の説明図。

第 3 図は、本発明のサーボ系の発振検出方式及び速度ループゲイン自動調整方式の一実施例における速度ループ処理周期での処理を示すフローチャート。

第 4 図は本発明の発振検出方式の実施例における発振検出処理のフローチャート。

第 5 図は、第 3 図におけるステップ 106 の代りに実行する処理のフローチャート。

第 6 図は、オフセット値を変更するとき追加される処理のフローチャート。

第 7 図は、本発明の速度ループゲイン自動調整方式の実施例におけるゲイン調整処理のフローチャート。

- 33 -

-601-

- 34 -

第8図、第9図は、120Hzの機械的共振をもつ機械系を25Hzで振動させたときの実速度の変化（速度波形）、及び、速度の微分変化（速度微分波形）を表す図。

第10図は、ステックスリップを生じさせるとき必要な最大トルク値と速度ループの周波数帯域及びオフセット値との関係を表す図。

第11図は、速度ループのブロック線図である。

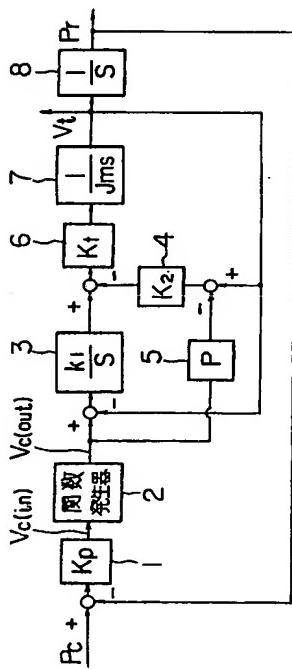
2…関数発生器、 k_1 …積分ゲイン、 k_2 …比例ゲイン、P…パラメータ、 f_a …基準周波数、 ϵ …閾値、 α …パラメータ、 f_{lim} …速度ループ帯域の上限値、 f_{max} …検出周波数、 f_n …カットオフ周波数。

特許出願人 ファナック株式会社

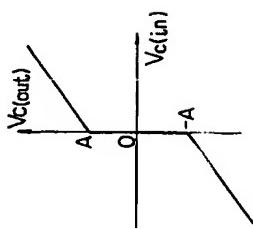
代理 人 弁理士 竹本松司
(ほか2名) 

- 35 -

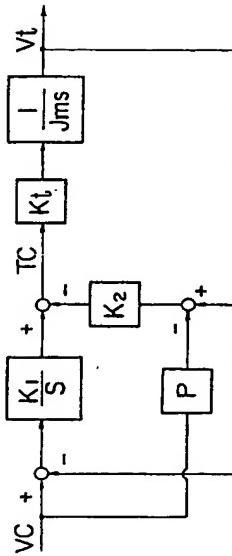
第1図



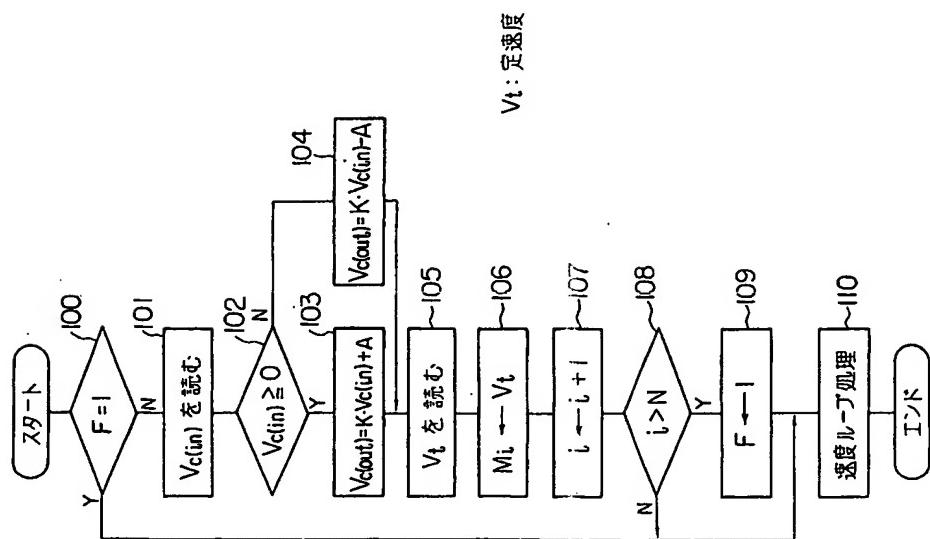
第2図



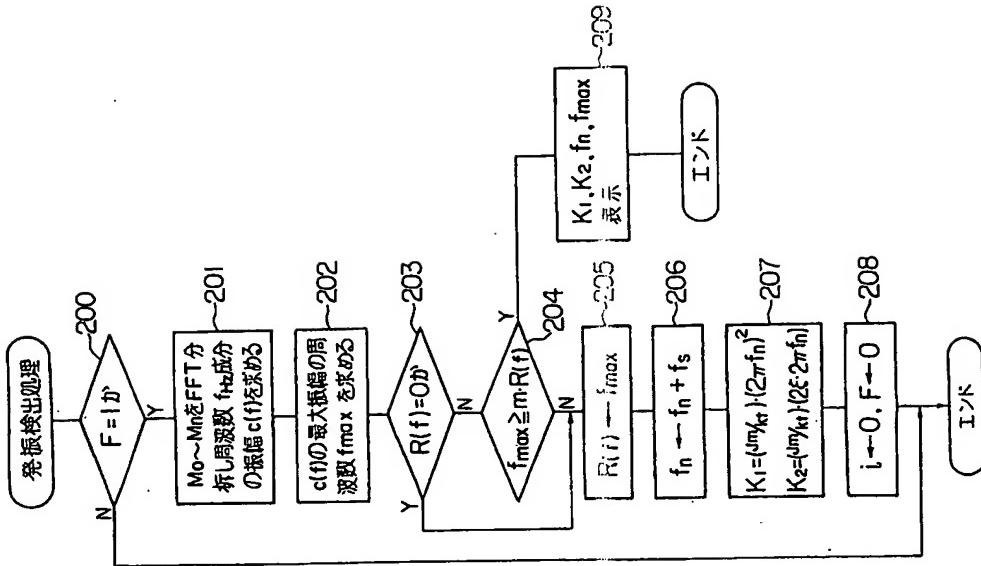
第11図



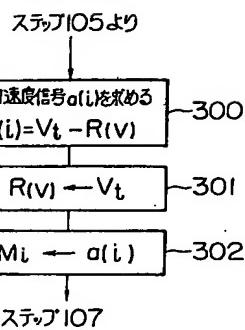
第3図



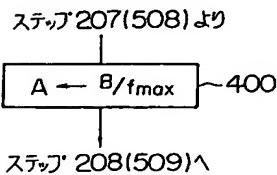
第4図



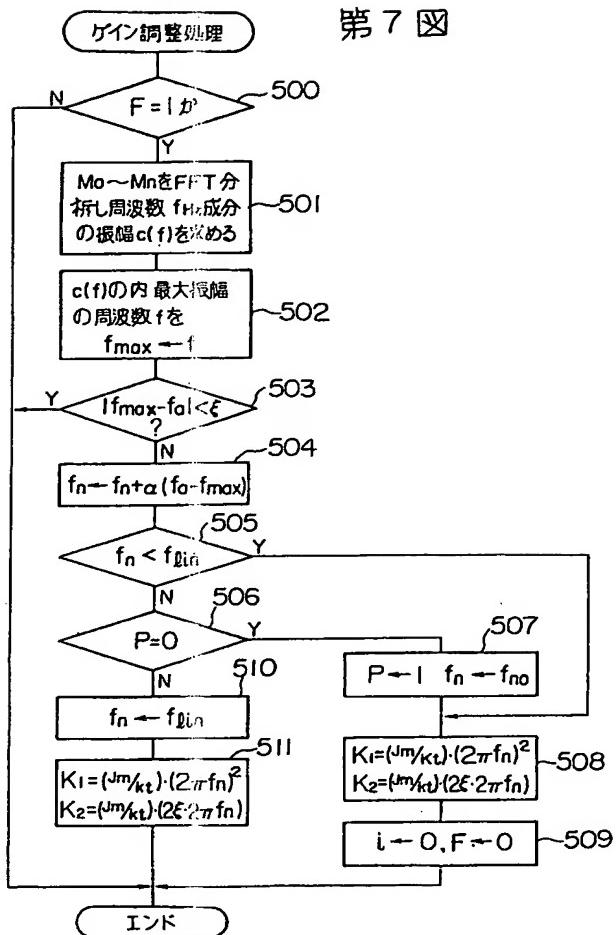
第5図



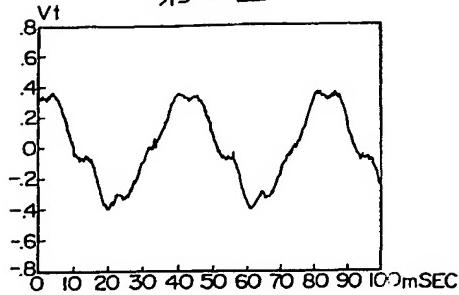
第6図



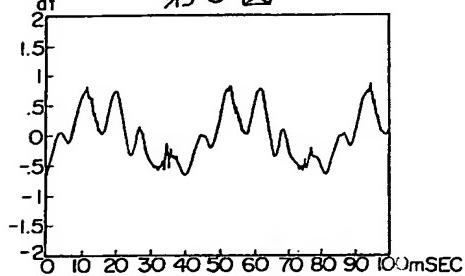
第7図



第8図



第9図



第10図

